

UNIFORMIZAÇÃO DE IMAGENS LANDSAT PARA PREVISÃO DE SAFRAS AGRÍCOLAS

SALETE GÜRTLER¹
ALFREDO JOSÉ BARRETO LUIZ¹
JOSÉ CARLOS NEVES EPIPHANIO¹

¹ INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{salete, barreto, epiphani}@ltid.inpe.br

Abstract. The paper presents a method to standardize a time series of images taking a single image as reference. This is a necessary procedure in a lot of applications where temporal dynamics is an important issue. The 3, 4 and 5 bands of five images obtained by the Landsat TM or ETM+ sensor were used. An ETM+ image from jan/05/2002 was used as reference and it was atmospherically corrected by “dark object subtraction” (DOS) method. Pseudo-invariant dark and bright targets were selected in the reference image and their digital numbers (DN) in each band registered. Other two TM and two ETM+ images were standardized by fitting each DN value, for the same targets, to a linear regression equation. For comparison, all the images were corrected by the DOS method, and the results showed that the pseudo-invariant targets had their radiance values closer between dates when adjusted by regression method.

Keywords: remote sensing, radiometric correction, image processing, agriculture, uniformed images.

1. Introdução

Diversos trabalhos que utilizam dados obtidos por sensoriamento remoto levam em conta séries temporais e, por isso, necessitam de um conjunto multitemporal de imagens de satélite, seja de imagens abrangendo um intervalo de anos, seja de imagens dentro de um mesmo ano abrangendo diferentes épocas. Em alguns estudos desse tipo ocorre a necessidade de uniformizar as imagens, pois estas apresentam valores digitais distintos para um mesmo alvo com reflectância supostamente invariante. Esse fenômeno ocorre devido às diferenças dos parâmetros do sensor, do ângulo solar e, além disso, ao espalhamento atmosférico, que contribui, principalmente, com um efeito aditivo na radiância captada e transformada em sinal elétrico e depois em número digital (ND) pelo sensor.

Ao tratar desse tema, muitos artigos adotam os termos retificação radiométrica (Hall et al, 1991), normalização (Du et al, 2001; Yuan e Elvidge, 1996) ou até calibração (Furby e Campbell, 2001; Tokola et al, 1999). No entanto, não se pode garantir que as imagens transformadas terão um comportamento “normal” ou que seus valores serão “normalizados”, no sentido estatístico do termo. O que se consegue ao final do procedimento aqui apresentado é um comportamento uniforme no que diz respeito à resposta espectral de alvos considerados invariantes com o tempo, por isso é adotado o termo “uniformização”.

Nem todos os trabalhos que adotam uma abordagem multitemporal requerem a correção atmosférica. Quando é realizada a classificação em cada imagem separadamente e a comparação intertemporal se dá sobre os mapas temáticos originados dessas classificações, por exemplo, ela é desnecessária. Mesmo porque, todas as transformações realizadas sobre os dados de uma imagem, com o fim de corrigi-la radiométrica e atmosféricamente, são lineares e uniformes para todos os pixels, não alterando a posição relativa dos mesmos no espaço de atributos, quer eles estejam representados em número digital, radiância ou reflectância.

2. Uniformização de imagens

Não são raros os trabalhos relacionados à agricultura que trabalham com séries multitemporais de imagens, pois os alvos agrícolas apresentam, por natureza, um

comportamento dinâmico ao longo do tempo. Um assunto bastante discutido na literatura é a necessidade da correção radiométrica que, dependendo da pesquisa a ser desenvolvida, mesmo que trabalhe com um conjunto de cenas ou imagens da mesma órbita/ponto, não necessitam desse tipo de correção. Um exemplo são os trabalhos que utilizam as imagens apenas para mapeamento, sem se importar em comparar curvas espectrais das diferentes imagens ou realizar operações matemáticas entre bandas de diferentes datas. Segundo Hill e Sturm (1991) a correção radiométrica permite que sejam realizadas comparações quantitativas com a reflectância dos alvos obtidas de imagens ou até de medições de campo.

A correção radiométrica, tratada neste texto como uniformização de imagens, pode ser realizada a partir de alvos pseudo-invariantes que são usados para encontrar o relacionamento entre cada imagem e uma imagem referência (Hill e Sturm, 1991). Segundo Casselles e Lopez Garcia (1989) imagens de diferentes datas de aquisição podem ser comparadas ajustando uma função de regressão entre alvos referência claros e escuros e assumindo reflectância estável.

Considerando que não houve alteração no uso do solo, pixels com a mesma localização geográfica em imagens obtidas em diferentes datas correspondem ao mesmo alvo e a relação entre eles deve ser linear. E, se os efeitos forem homogêneos em toda a cena, são necessários apenas dois pares de pixels para encontrar a relação linear entre duas datas (Du et al, 2001). Dessa maneira, a uniformização como que altera as condições atmosféricas e de iluminação de uma imagem qualquer para aquelas da cena usada como referência (Hill e Sturm, 1991).

Destacam-se, nessa linha de pesquisa, os trabalhos de Hill e Sturm (1991), Casselles e Lopes Garcia (1989) e Furby e Campbell (2001), que realizaram a correção radiométrica de imagens Landsat aplicando uma equação de regressão linear obtida a partir de pares de pixels localizados em alvos invariantes numa imagem referência e em outra imagem da mesma cena em outra data. Olsson (1993) testou diferentes tipos de funções de regressão para uma comparação da calibração temporal relativa dos dados do TM/Landsat. Para realizar a uniformização ele utilizou como referência espectral amostras de pixels de floresta boreal, pois a mudança é muito pequena em poucos anos.

Olsson (1993) chama de calibração relativa à uniformização obtida a partir de uma função de regressão para prever os valores dos pixels de uma aquisição posterior, e de calibração absoluta, aquela em que os dados de duas aquisições são transformados em uma escala de reflectância absoluta, sendo necessários para esta última: os dados de desempenho do sensor, as características da atmosfera e a irradiância solar, que deve ser conhecida ou estimada. O autor ainda afirma que uma calibração absoluta de reflectância poderia, entretanto, ser uma etapa de pré-processamento útil antes da calibração relativa entre cenas ser aplicada.

No entanto, o problema que ocorre com os métodos de calibração relativa é que, mesmo áreas que não mudaram podem apresentar uma variação natural na reflectância entre as aquisições, ou devido à variação natural sazonal, ou devido à diferença de iluminação ou geometria de visada (Olsson, 1993).

Vale ressaltar que, como a técnica de uniformização utiliza uma equação de regressão linear para aproximar uma imagem da outra, ela trabalha, portanto, com pares de pixels de duas aquisições diferentes. Isso significa que a correção geométrica deve ser realizada cuidadosamente, resultando em um erro de dimensões sub-pixel entre as duas imagens.

3. Correção atmosférica por subtração de pixel escuro (SPE)

Das técnicas existentes para remover o espalhamento atmosférico de imagens estão, desde o simples método de subtração do objeto escuro, conhecida como DOS (dark object subtraction), até técnicas mais sofisticadas, que usam modelos de transferência atmosférica (6S) e dados obtidos no campo (Chavez, 1989). Os métodos baseados na técnica de subtração dos objetos escuros (DOS) estimam a interferência atmosférica diretamente da imagem. Não se pretende

aqui discutir qual dos métodos de correção é mais exato e sim apresentar uma metodologia que se baseia em informações obtidas apenas da imagem.

A técnica desenvolvida por Chavez (1988) realiza a estimativa do espalhamento para as bandas, com ganho e intercepto normalizados, a partir de um modelo de espalhamento atmosférico relativo que utiliza como valor de entrada o espalhamento de apenas uma banda. Esse método considera que existem alvos escuros na imagem, em geral sombras da topografia ou de nuvens, que deveriam apresentar um valor muito baixo de número digital na imagem, equivalente a cerca de 1% de reflectância (Chavez, 1989). Entretanto, o valor do pixel mais escuro encontrado na imagem é geralmente muito superior a esse valor, devido ao ruído do próprio sensor, que mesmo quando não está recebendo radiação retorna um sinal como resposta, e também ao espalhamento atmosférico, que exerce maior interferência nos comprimentos de onda mais curtos. A correção do ruído devido ao próprio sensor é feita aplicando-se os parâmetros de engenharia fornecidos e atualizados periodicamente. Já os efeitos atmosféricos podem ser corrigidos, entre outras formas, pela subtração do pixel escuro.

Na prática, o método proposto por Chavez necessita inicialmente do valor do pixel escuro da banda de menor comprimento de onda, que pode ser extraído do histograma de frequência. O valor desse pixel escuro é utilizado para identificar a condição atmosférica no momento da obtenção da imagem, classificada pelo autor de muito limpa até opaca e, a partir do modelo de espalhamento relativo, calcular o espalhamento em cada banda espectral. Esse procedimento baseia-se no fato de que atmosferas muito claras são caracterizadas pelo espalhamento Rayleigh, atmosferas moderadas pelo espalhamento Rayleigh e Mie, enquanto que atmosferas opacas são influenciadas por espalhamento Rayleigh e Mie, mas com Mie sendo mais importante que na atmosfera moderada (Chavez, 1988).

O valor a ser subtraído em cada banda é o valor calculado pelo método Chavez (1988) a partir do valor do pixel escuro, reduzido do valor de ND referente a 1% de reflectância.

4. Metodologia

O presente estudo pretende uniformizar as bandas 3, 4 e 5 em uma fração das imagens dos sensores ETM+/Landsat7 e TM/Landsat5 de diferentes épocas e anos, da mesma órbita e ponto (220 e 74), correspondente a uma área de 12.278 km², situada na região norte do Estado de São Paulo, sendo o uso predominantemente agrícola.

A imagem de 05 de janeiro de 2002 obtida pelo sensor ETM+ foi eleita como imagem referência pelo fato de ser a imagem com menor incidência de nuvens. Esta data determinou a escolha das demais datas, optando por imagens de dois sensores do programa Landsat, o sensor TM e o ETM+, obtidas no mesmo mês da imagem referência e obtidas em outros meses. As imagens do sensor TM escolhidas foram as dos dias 10 de novembro de 1995 e 08 de janeiro de 2000; e as imagens do sensor ETM+ foram as dos dias 18 de janeiro e 14 de agosto de 2001.

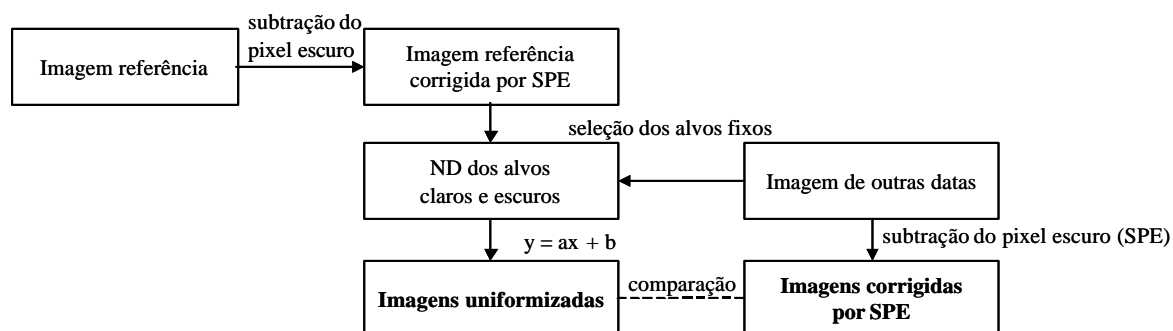


Figura 1: Esquema metodológico.

A metodologia, esquematizada na **Figura 1**, envolveu duas etapas principais: correção atmosférica da imagem referência pelo método de subtração do pixel escuro (SPE), proposta por Chavez (1988); e uniformização das imagens das demais datas pelo método da regressão. Uma etapa adicional, de avaliação, consistiu na comparação do método de uniformização com o método de correção atmosférica por SPE, sendo, para tanto, realizada a correção atmosférica por SPE para todas as imagens.

Na etapa de correção atmosférica da imagem referência por SPE, fez-se a seleção do pixel escuro diretamente no histograma de frequência da banda 1 da imagem referência, escolhendo o de menor ND com frequência significativa. Para auxiliar na escolha do pixel, já que alguns números digitais apresentam frequência muito baixa (sempre <10 até o ND 54), calculou-se o crescimento da frequência ao se passar de um ND para outro nível mais alto, sendo escolhido o ND 58, pois nele o crescimento foi máximo, indicando que haveria uma perda muito maior de informação se fosse escolhido um ND superior a este. A **Figura 2** apresenta a frequência, em escala logarítmica, de cada ND (a) e o seu crescimento relativo (b).

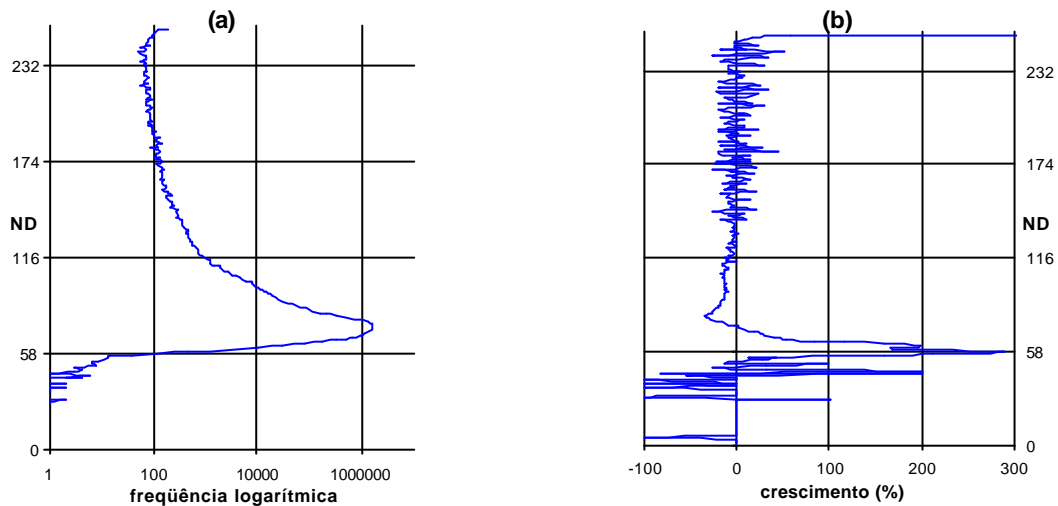


Figura 2: Frequência dos NDs da banda 1 (a) e seu crescimento relativo percentual (b).

O crescimento percentual da frequência de um ND para o seguinte (C%), foi calculado a partir da equação:

$$C \%_i = 100 \times \frac{f_{i+1} - f_i}{f_i}$$

onde: f_i é a frequência do ND_i ; e f_{i+1} é a frequência do ND_{i+1} .

Em seguida calculou-se, a partir do ND do pixel escuro, a quantidade de espalhamento para as demais bandas espectrais da imagem referência, considerando o modelo de espalhamento relativo para atmosfera muito limpa. Estes valores de ND, referentes ao espalhamento em cada banda, foram subtraídos da imagem referência, o que resultou na imagem corrigida em relação ao espalhamento atmosférico.

A segunda etapa consistiu na uniformização das imagens, que foi feita duas a duas sendo uma delas sempre a imagem referência. Para isso foram selecionados, por análise visual na imagem referência, 43 alvos pseudo-invariantes, que são alvos que supostamente não alteram a reflectância ao longo do tempo. Estes alvos são, na maioria das vezes, áreas construídas ou corpos d'água. No centro destes alvos foi desenhado um quadrado de 100 pixels (10 X 10 pixels). Desses alvos foram selecionados os mais claros e os mais escuros, e desconsiderados aqueles menores que o quadrado de 100 pixels, resultando em 5 alvos claros e 3 alvos escuros. Os dados de ND máximo para os alvos claros e ND mínimo para os alvos escuros, dentro dos quadrados da imagem referência, foram utilizados como variável independente (y) e os ND máximos e mínimos referentes às demais imagens foram utilizados como variável

dependente (x), ajustando assim uma regressão linear simples ($y = ax + b$) para cada imagem. Outros 12 alvos foram selecionados da mesma maneira para a etapa de avaliação do método.

A correção atmosférica por SPE foi aplicada nas demais bandas seguindo o mesmo procedimento utilizado para fazer a correção por SPE na imagem referência. Esta correção foi feita para comparar a metodologia de uniformização proposta com a metodologia de correção por SPE, sendo a última considerada uma correção absoluta enquanto a primeira é considerada uma correção relativa.

5. Resultados e discussão

O valor do pixel escuro (58) subtraído do valor em ND de 1% de refletância (15,17) resultou num valor inicial de 42,83, o que permite considerar a atmosfera muito clara. Para as bandas 3, 4 e 5 o método estimou o espalhamento, em número digital, de 20,8; 12,7 e 9,6, respectivamente. Nos histogramas da imagem referência, sem correção e com a correção SPE (**Figura 3**), é possível constatar que não houve alteração no desvio padrão dos NDs da imagem, somente as médias dos NDs foram alteradas. Portanto, este método não ocasiona compressão e nem distensão nos dados originais.

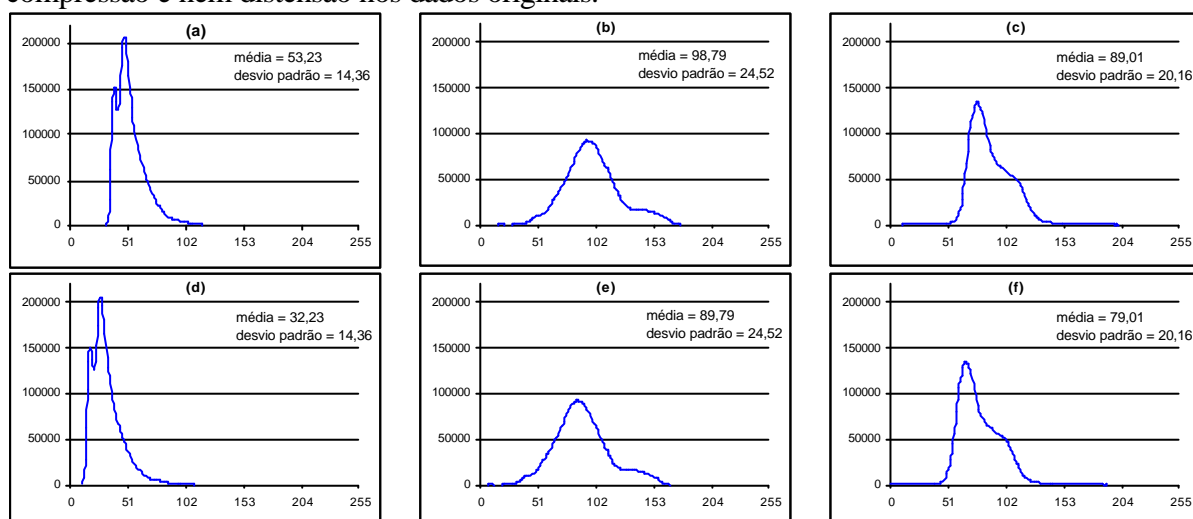


Figura 3: Histogramas de frequência da imagem referência (05/jan/2002) antes da correção atmosférica, bandas 3(a), 4(b) e 5(c), e depois da correção atmosférica, bandas 3(d), 4(e) e 5(f).

A uniformização das imagens foi realizada a partir das equações de regressão linear apresentadas na **Tabela 1** para cada data e banda. Apesar de todas as equações apresentarem alto coeficiente de determinação, a imagem obtida pelo mesmo sensor e no mesmo mês da imagem referência (18/01/2001) foi a que apresentou maior correlação com a imagem referência em todas as bandas. Nas imagens do sensor TM, a banda que mais se relacionou com a referência foi a 5 e a que menos se relacionou foi a 3. Já na imagem do sensor ETM+ de 14/08/2001 uma relação inversa a essa foi encontrada.

Tabela 1: Equação de regressão linear ajustada às imagens em função da imagem do dia 05/01/2002 e o respectivo coeficiente de determinação (R^2).

Variável dependente	Sensor	Equação (R^2)		
		Banda 3	Banda 4	Banda 5
10/11/1995	TM	$y = 1,711x - 18,534$ (0,90)	$y = 1,005x + 0,516$ (0,96)	$y = 1,130x + 0,203$ (0,97)
08/01/2000	TM	$y = 1,682x - 18,953$ (0,87)	$y = 0,877x - 1,168$ (0,94)	$y = 1,084x - 4,152$ (0,96)
18/01/2001	ETM+	$y = 1,042x - 34,536$ (0,99)	$y = 0,951x - 18,438$ (0,99)	$y = 1,016x - 24,263$ (0,99)
14/08/2001	ETM+	$y = 1,472x - 28,231$ (0,97)	$y = 1,071x - 11,782$ (0,96)	$y = 1,193x + 1,683$ (0,90)

Para se avaliar a metodologia proposta a correção por SPE foi feita também nas imagens originais das outras quatro datas, utilizando-se os valores apresentados na **Tabela 2**.

Tabela 2. Valores de pixel escuro subtraídos das imagens.

Data	Sensor	Banda		
		3	4	5
10/11/1995	TM	5,14	3,20	3,56
08/01/2000	TM	12,79	5,98	4,89
18/01/2001	ETM+	24,48	9,49	10,02
14/08/2001	ETM+	21,11	8,63	9,60
05/01/2002	ETM+	20,80	8,55	9,56

A vantagem da correção por SPE é que não ocorre truncamento dos valores de ND, nem espaços vazios no histograma de frequência, como ocorre na uniformização, o primeiro devido a arredondamentos dos valores após a aplicação da regressão linear e o segundo devido ao fato da regressão não resultar na sequência completa de NDs. Este fato garante ao primeiro método a manutenção do desvio padrão como pode ser verificado na **Tabela 3**.

Tabela 3: Média e desvio padrão (s) das imagens originais, uniformizadas e com correção por SPE.

Banda	Imagem	10/nov/95		08/jan/00		18/jan/01		14/ago/01		05/jan/02	
		média	s	média	s	média	s	média	s	média	s
3	Original	42,21	10,24	38,81	10,58	64,07	15,68	65,82	17,56	53,23	14,36
	Corrigida SPE	36,21	10,24	25,81	10,58	39,07	15,68	43,82	17,56	32,23	14,36
	Uniformizada	53,17	17,51	45,83	17,80	31,75	16,38	68,15	25,85	-	-
4	Original	57,45	19,38	96,20	26,56	117,77	28,27	78,71	21,05	98,79	24,52
	Corrigida SPE	53,45	19,38	90,20	26,56	107,77	28,27	69,71	21,05	89,79	24,52
	Uniformizada	57,50	19,50	82,66	23,30	93,08	26,90	72,01	22,56	-	-
5	Original	72,51	20,52	86,15	20,27	102,95	19,99	77,08	22,80	89,01	20,16
	Corrigida SPE	68,51	20,52	81,15	20,27	91,95	19,99	67,08	22,80	79,01	20,16
	Uniformizada	81,62	23,18	88,78	21,98	79,91	20,17	93,11	27,19	-	-

A avaliação dos dois métodos de correção foi realizada pela análise dos resíduos entre os valores de radiância estimados pelo método de uniformização e pelo método de correção atmosférica, para 20 alvos supostamente invariantes, incluindo os 8 alvos utilizados no ajuste da regressão. A comparação se deu por valores de radiância porque assim os resíduos encontrados em cada banda espectral e para cada tratamento tem o mesmo significado.

$$e_{b,i} = Y_{b,i} - \hat{Y}_{b,i}$$

onde: $e_{b,i}$ = resíduo entre os valores de radiância encontrado e o estimado na banda b , no pixel i

$Y_{b,i}$ = valor de radiância encontrado na banda b , no pixel i da imagem referência

$\hat{Y}_{b,i}$ = valor de radiância estimado na banda b , no pixel i da imagem corrigida por SPE ou uniformizada

Os gráficos a seguir (**Figura 4**) mostram o somatório dos resíduos positivos e o somatório dos resíduos negativos, o que permite analisar se os tratamentos resultaram em uma sub ou superestimação dos valores digitais.

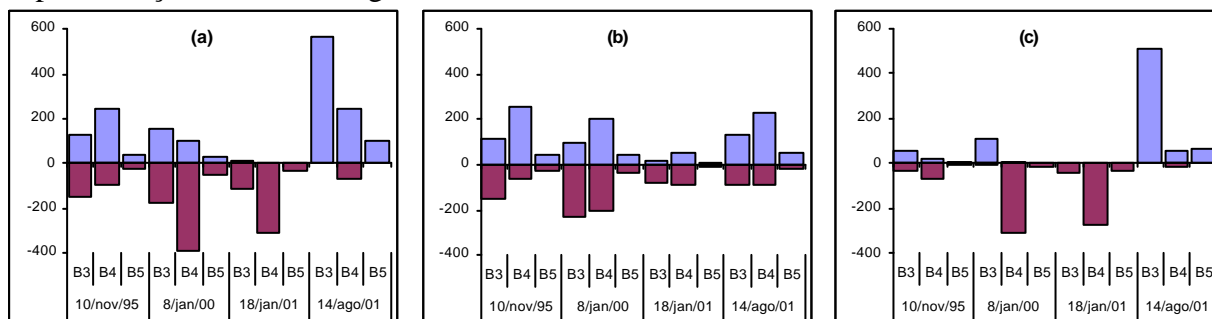


Figura 4: Somatório positivo e negativo dos resíduos das imagens com correção por SPE (a) e das imagens uniformizadas (b) e somatório da diferença entre as uniformizadas e as corrigidas (c), nas bandas 3, 4 e 5.

Analisando a **Figura 4a** e **4b** observa-se que os resíduos das imagens corrigidas por SPE são maiores se comparados aos resíduos das imagens uniformizadas. Isso fica especialmente evidente com relação ao somatório positivo da banda 3 na imagem de 14/08/01 e aos somatórios negativos da banda 4 nas imagens de 08/01/00 e 18/01/01. Isso pode ser visto mais

claramente pelas diferenças expressas na **Figura 4c**. Para as demais combinações entre datas e bandas os resíduos das imagens uniformizadas e corrigidas ficaram muito próximos entre si. Na banda 5 tanto a correção por SPE quanto a uniformização, apresentaram resultados muito semelhantes, gerando resíduos pequenos, o que era esperado, pois o efeito da atmosfera nesse comprimento de onda é praticamente nulo, especialmente no caso de atmosfera muito limpa.

Outro fator importante a ser analisado é determinado pelos resíduos máximos e mínimos que, como se mostra na **Figura 5**, pouco diferiram entre as imagens corrigidas por SPE (a) e as uniformizadas (b). Pode ser verificado que os maiores resíduos em (a) são também os maiores em (b), atingindo até 158 níveis digitais de diferença em relação à referência.

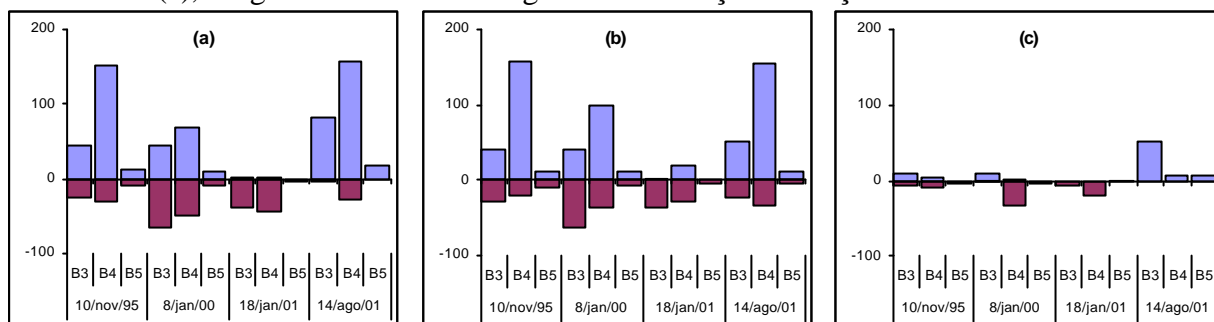


Figura 5: Resíduos máximos e mínimos das imagens com correção por SPE (a) e das imagens uniformizadas (b) e diferença máxima e mínima entre as uniformizadas e as corrigidas (c), nas bandas 3, 4 e 5.

A partir dos resíduos foi possível calcular a soma do quadrado dos resíduos (SQR), cuja interpretação indica qual é o melhor tratamento (**Tabela 4**).

$$SQR = \sum (Y_{b,i} - \hat{Y}_{b,i})^2$$

Em relação a SQR, a imagem do dia 18/01/01 apresentou o menor valor nas três bandas analisadas, tanto nas imagens uniformizadas como nas imagens com correção por SPE. Nas imagens com correção por SPE a que resultou em maior SQR nas três bandas foi a do dia 14/08/01. Nas imagens uniformizadas a imagem com maior SQR variou entre as bandas, sendo na banda 3 a imagem do dia 08/01/00, na banda 4 a do dia 10/11/95 e na banda 5 a do dia 14/08/01.

Tabela 4: Valores de SQR para os dois tratamentos em relação à imagem referência e para as imagens uniformizadas em relação às imagens com correção por SPE.

Bandas	Data	10/11/95 (TM)	08/01/00 (TM)	18/01/01 (ETM+)	14/08/01 (ETM+)	média
3	Uniformizadas (U)	7097,64	9694,21	1884,55	5483,02	5687,26
	Corrigidas por SPE (C)	7066,61	10828,59	2027,18	27333,82	13396,53
	U – C	427,34	892,60	202,45	19720,47	6938,51
4	Uniformizadas (U)	29394,16	17602,19	2495,42	27166,27	19164,51
	Corrigidas por SPE (C)	28411,12	19693,52	7497,45	27963,28	20891,34
	U – C	521,34	7181,00	3816,31	314,14	2958,20
5	Uniformizadas (U)	438,26	478,74	24,56	554,62	374,05
	Corrigidas por SPE (C)	484,54	488,26	65,00	1192,63	557,61
	U – C	19,13	32,76	37,97	287,51	94,34

Verificou-se também que os valores de SQR variam muito com o tipo de sensor, a data da imagem e a banda considerada, mostrando entretanto que, em média, as imagens uniformizadas apresentaram valores de SQR inferiores aos encontrados nas imagens com correção por SPE nas três bandas espectrais. Considerada isoladamente, a imagem do dia 18/01/01 foi a de menor SQR. Isso, assim como a alta correlação da imagem original dessa data com a imagem referência, que atingiu um coeficiente de determinação de 0,99 nas três bandas, é explicado pela proximidade entre a época de obtenção das imagens, e ainda por serem de anos consecutivos e obtidas pelo mesmo sensor.

Apesar das variações observadas nos resultados constatou-se que, mesmo cobrindo um período relativamente longo (sete anos), com uma variação expressiva entre as épocas de

aquisição das imagens (uma no inverno, uma na primavera e três no verão), e trabalhando com dois sensores (TM e ETM+), os valores de DN e a aparência das imagens geradas, tanto pela uniformização como pela correção por SPE, foram bastante semelhantes.

6. Conclusão e Recomendações

O método de uniformização de imagens apresentou melhor resultado que a correção por SPE, pois verificou-se que os valores de radiância dos alvos fixos se aproximaram mais da imagem referência. A dificuldade do método está na determinação visual dos alvos invariantes que devem estar presentes em todas as imagens e apresentar um número digital coerente, ou seja, os valores de ND dos alvos escuros devem ser sempre baixos e os valores de ND dos alvos claros devem ser sempre altos.

O método de uniformização apresentou resultados bastante satisfatórios, tanto em tempo de processamento, por ser um método rápido, considerando um grande número de imagens; como em produto final. No entanto, em trabalhos em que for pequeno o número de imagens e nos quais o tempo de processamento não seja limitante, outros métodos, como os de correção que utilizam medições do espalhamento da atmosfera no momento em que a imagem é adquirida pelo sensor, podem ser mais eficazes.

Apesar de o método ter apresentado um bom resultado, ficam algumas recomendações de procedimentos que poderiam melhorá-lo, como a estratificação das datas, para evitar que a uniformização seja feita entre datas muito distantes. Aconselha-se que, quando houver muitas imagens a ser uniformizadas, cobrindo um período de vários anos, elas devam ser divididas em grupos usando como critério para a divisão a proximidade entre as datas. Além disso, as imagens podem ser divididas em grupos de acordo com a época do ano, ou seja, um grupo com imagens da época seca e outro com imagens da época chuvosa, por exemplo.

Referências

- Casselles, V. e Lopez Garcia, M.J. An alternative simple approach to estimate atmospheric correction in multitemporal studies. *International Journal of Remote Sensing*, v. 10, p. 1127-1134, 1989.
- Chavez Jr., P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, v. 24, p. 459-479, 1988.
- Chavez Jr., P.S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 55, p. 1285-1294, 1989.
- Du, Y.; Cihlar, J.; Beaubien, J.; Latifovic, R. Radiometric normalization, composition, and quality control for satellite high resolution image mosaics over large areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 39, p. 623-634, 2001.
- Furby, S.L. e Campbell, N.A. Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. *Remote Sensing of Environment*, v. 77, p. 186-196, 2001.
- Hall, F.G.; Strebel, D.E.; Nickeson, J.E.; Goetz, S.J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. *Remote Sensing of Environment*, v. 35, p. 11-27, 1991.
- Hill, J. e Sturm, B. Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, v. 12, p. 1471-1491, 1991.
- Olsson, H. Regression functions for multitemporal relative calibration of Thematic Mapper data over boreal forest. *Remote Sensing of Environment*, v. 46, p. 89-102, 1993.
- Tokola, T.; Löfman, S.; Erkkilä, A. Relative calibration of multitemporal Landsat data for forest cover change detection. *Remote Sensing of Environment*, v. 68, p. 1-11, 1999.
- Yuan, D. e Elvidge, C.D. Comparison of relative radiometric normalization techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 51, p. 117-126, 1996.